Aus dem Pharmakologischen Institut Marburg.

Ueber den Wert der Konzentrationsschwelle für die Beurteilung der Süßigkeit eines Stoffes.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe

der

Hohen medizinischen Fakultät der Universität Marburg

vorgelegt von

Albert Arnold
aus Dingelstädt (Reg.-Bez. Erfurt).

MARBURG
Buchdruckerei von Joh. Hamel.
1918.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät Marburg
am 6. Mai 1918.
Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.
Referent: Prof. Gürber.

Die Behauptung, daß gewisse künstliche Süßstoffe, z. B. Saccharin etwa 400—500 mal, Dulcin etwa 300—400 mal süßer schmecken als der gewöhnliche Zucker, gründet sich auf die Annahme, daß die Süße eines Stoffes in umgekehrtem Verhältnis stehe zur Größe der Schwellenkonzentration. Wenn somit die Konzentrationsschwelle des Rohrzuckers bei 1 : 100 liegt, so müßte dann die Konzentrationsschwelle für Saccharin bei 1 : 40000—50000, für Dulcin bei 1 : 30000—40000 liegen. Und in der Tat sind für die genannten Süßstoffe derart niedrige Konzentrationsschwellen gefunden worden. Man könnte deshalb meinen, daß die obige Behauptung tatsächlichen Verhältnissen entspräche, und bei den Konzentrationsschwellen ist das auch der Fall. Nicht bewiesen ist aber durch die Reizschwellenbestimmung, daß sich die Süßen auch bei höheren Konzentrationen, wie sie von praktischer Bedeutung sind, gleich verhalten. Herr Prof. Gürber hat nämlich gefunden, daß, wenn man Saccharin und Dulcin miteinander vergleicht, bei der 10fachen Konzentrationsschwelle das Saccharin bedeutend süßer schmeckt als das Dulcin. Diese Beobachtung näher zu verfolgen und sie auch auf andere süßschmeckende Stoffe auszudehnen, ist die Aufgabe, die der vorliegenden Abhandlung zugrunde liegt.

Allgemeine Versuchsmethodik und Literatur.

Bei der Ausführung der Versuche habe ich mir zunächst von den zu untersuchenden Süßstoffen konzentrierte Lösungen hergestellt, die ich zu weiteren Verdünnungen benutze. Zur Herstellung dieser konzentrierten Lösungen

sowie der weiteren Verdünnungen gebrauchte ich destilliertes Wasser, um Geschmacksumstimmungserscheinungen und Geschmackskompensationen zu vermeiden, die durch Leitungswasser hervorgerufen werden könnten. Ueber solche Geschmacksumstimmungserscheinungen schreibt W. Nagel[1]), daß man eine der ausgeprägtesten beobachtet nach Ausspülen des Mundes mit Kaliumchlorat, das selbst nur einen schwachen Geschmack von komplizierter Beschaffenheit besitzt, aber das Geschmacksorgan so umstimmt, daß danach genommenes reines Wasser süß schmeckt. Frentzel[2]) fand, daß Ausspülen des Mundes mit Kupfersulfat den Zigarrenrauch süßschmeckend macht. W. Nagel[1]) fand dasselbe bei Ausspülung mit Kaliumpermanganat. Zuntz[3]) macht eine interessante Beobachtung, die W. Nagel[1]) wie auch Zwaardemaker[4]) anführt, daß nämlich eine Kochsalzlösung von 0,1% nicht mehr von reinem Wasser durch den Geschmack unterschieden werden kann, aber den süßen Geschmack des Zuckers in 12proc. Lösung deutlich süßer macht. Nach Aducco und Mosso[5]) empfindet die Zunge nach Eintauchung in verdünnte Schwefelsäure reines Wasser als süß schmeckend. Nagel[1]) stellt noch die alte Erfahrung fest, daß säuerliche Getränke viel saurer als gewöhnlich schmecken, wenn zuvor Süßes genommen wurde. H. Zwaardemaker[4]) erwähnt als Geschmackskompensation, daß es bei Süß und Salz gelingt, die Indifferenzstufe völlig zu erreichen, sodaß beide Geschmacks-

[1]) W. Nagel. Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. III. 1905. pp. 642 u. 643.

[2]) Frentzel. Notiz zur Lehre von der Geschmacksempfindung. Zentralblatt f. Physiologie 1896. Bd. X. p. 3.

[3]) Beiträge z. Physiologie des Geschmacks. Arch. f. Physiologie 1892 p. 556.

[4]) Zwaardemaker. Geschmack. Ergebnisse der Physiologie II$_2$ 1903. p. 720.

[5]) Aducco u. Mosso: Giorn. R. Accad. med. 1886.

qualitäten einander aufheben. Kepler[1]) sah bei Sauer und Süß die Unterschiedsempfindlichkeit mit wachsender Konzentration der Lösungen abnehmen, bei Salzig und Bitter aber im Gegenteil zunehmen.

Nicht ohne Einfluß auf den Geschmacksreiz ist die Temperatur der zu schmeckenden Lösungen. H. Zwaardemaker[2]) gibt an, daß Shore, Zuntz, Lombroso, und Ottolenghi, Kiesow, G. Heymans, Corin, Grützner und Höber bei ihren Versuchen über Schwellenbestimmung die zu prüfenden Lösungen entweder auf Zimmer- oder Körpertemperatur gebracht haben. Nach W. Nagel[3]) stellte Camerer ein Optimum bei Temperaturen zwischen 10 u. 20° fest. Kiesow[4]) hat dagegen gefunden, daß bei allen Temperaturen, bei denen kein Wärme- oder Kälteschmerz auftritt, die Empfindlichkeit des Geschmackes dieselbe bleibt. Er bestätigt, wie auch schon früher Guyot[5]), den alten E. H. Weberschen Versuch[6]), der beweist, daß nach starker Abkühlung oder Erwärmung die Zunge zunächst unempfindlich für Geschmackseindrücke ist.

Ich führe meine Versuche in zwei Reihen aus, eine bei der Temperatur von 16—17°, die der Zimmertemperatur und auch dem von Camerer gefundenen Optimum entspricht, und eine bei der Temperatur von 36—37°, der Körpertemperatur. Die Versuchsergebnisse beider Reihen sind genau die gleichen, wiewohl für mich der Geschmack

---

[1]) Arch. für die ges. Physiologie 2, 449.

[2]) Zwaardemaker. Geschmack. Ergebnisse der Physiologie II, 1903. p. 715.

[3]) W. Nagel, Handbuch d. Physiol. des Menschen. Band III 1905. p. 636.

[4]) Philosoph. Studien von W. Wundt 1896.

[5]) Comt. rend. 42 1856.

[6]) Weber Müllers Arch. für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin 1849.

und die Geschmacksunterschiede deutlicher und schärfer sind bei 16—17° als bei 36—37°. Um bei meinen Versuchen die Lösungen auf diese Temperaturen zu bringen, richte ich ein mit mehreren Haltern versehenes Wärmebad her, dessen Temperatur ich das eine Mal auf 16—17°, das andere Mal auf 36—37° durch eine untergestellte regulierte Gasflamme halte und durch ein in das Wasser hinabreichendes Thermometer kontrolliere. In einem großen Kolben habe ich destilliertes Wasser im Wasserbad, das ich zur Herstellung von Verdünnungen benutze; ich brauche dann nicht solange zu warten, bis diese Lösungen im Wasserbad die gewünschte Temperatur angenommen haben. Von den konzentrierten Lösungen bringe ich mit einer Pipette abgemessene Mengen in einen Meßcylinder und fülle mit destilliertem Wasser so weit auf, bis ich den gewünschten Grad der Verdünnung erreicht habe. Diese neue Lösung gieße ich in einen Kolben und hänge sie ebenfalls in das Wasserbad. Hat sie die Temperatur des Wasserbades angenommen, nehme ich von ihr einen vollen Schluck in den Mund, trage durch Bewegungen der Zunge dafür Sorge, daß die Flüssigkeit mit möglichst vielen Geschmacksknospen in Berührung kommt, und koste. Nach einiger Zeit, wenn ich den Geschmack empfunden habe, spucke ich die Flüssigkeit aus. Ueber den Einfluß der Bewegungen der Zunge auf das Kosten, schreibt W. Nagel[1]): „Bewegungen der Zunge sind zum Schmecken nicht notwendig, und es kann nicht als erwiesen gelten, daß die Bewegungen der Zunge beim aktiven Schmecken oder Kosten die Empfindlichkeit für Geschmacksreize direkt erhöhen.“ Fick[2]) beobachtete allerdings, daß schmeckbare Flüssigkeiten, die auf den hinteren Teil des Zungenrückens gebracht werden, bei ruhig gehal-

[1]) W. Nagel, l. c. p. 630.

[2]) Lehrbuch der Anat. u. Physiol. d. Sinnesorgane 1864. S. 83.

tener Zunge oft garnicht oder nur ganz schwach schmecken, sehr deutlich dagegen, wenn die Zunge bewegt und an den Gaumen angedrückt wird. W. Nagel[1]) erklärt diese Beobachtung damit, daß durch die Reibung und Bewegung die schmeckende Substanz auf dem Geschmacksorgan verbreitet werde, und daß vielleicht das Eindringen der Substanzen in die Gruben der Schmeckpapillen durch Druck von oben erleichtert werde.

Zwischen den einzelnen Kostversuchen spüle ich den Mund mit destilliertem Wasser tüchtig aus.

Nach Nagel[1]) heißt Schwellenbestimmung, daß wir den eben merklichen Reiz des Geschmackes bestimmen, die eben wirksame Konzentration eines Stoffes in einem bestimmten Flüssigkeitsquantum, das in den Mund gebracht wird, oder die absolute Gewichtsmenge einer Substanz, die mit dem Geschmacksorgan in Berührung gebracht werden muß, damit Geschmacksempfindung zustande kommt. Er unterscheidet demnach eine Konzentrationsschwelle und eine Gewichtsschwelle. Bei den Versuchen zur Festlegung der Konzentrationsschwelle beginne ich zunächst mit sehr stark verdünnten Lösungen, die zweifellos ohne Geschmack sind, und schreite allmählich mit Verstärkung der Konzentration vor, bis ich beim Kosten den süßen Geschmack eben einwandsfrei feststellen kann. Dann beginne ich mit einer deutlich süßen Konzentration und verdünne allmählich weiter, bis ich in einer Lösung keinen süßen Geschmack mehr empfinde. Die letzte Lösung, in der ich einen solchen noch habe, nehme ich als Schwellenwert an.

Bei den Versuchen zur Bestimmung der Gewichtsschwelle messe ich von den Lösungen mit einer Pipette bestimmte Mengen ab und koste sie. Von der Flüssig-

[1]) W. Nagel, l. c. p. 635.

keitsmenge, bei der ich gerade eben den süßen Geschmack bekomme, berechne ich den Gehalt an Süßstoff. Die Schwellen der meisten Süßstoffe sind schon bestimmt. Zwardemaker[1]) stellt eine Tabelle einiger Stoffe auf, von der ich die angegebenen Werte der aufgeführten Süßstoffe, Saccharin u. Zucker, hier wiedergebe.

Integrale Geschmacksschärfe.

Stoff	Konzentration	Menge in ccm	Schwelle in mg	Autor
Zucker	0,3	1	3	Venables
	0,58	10	58	Heymans
Saccharin	0,001	0,5	0,0005	Lombroso u. Ottolenghi
	0,005	1	0,005	Venables

Ich habe zahlreiche Wiederholungen der Versuche vorgenommen und von den Schwankungen der Ergebnisse einen Mittelwert festgelegt. Zwei andere Personen unterstützten mich bei den Kostversuchen. Sie erhielten ungefähr die gleichen Werte wie ich.

Nach dem eben angeführten Plan habe ich mit folgenden Süßstoffen Versuche gemacht: Mit leicht löslichem Saccharin, mit Dulcin,[2]) Fruchtzucker, Rohrzucker, Traubenzucker, Mannit und Milchzucker.

Von Saccharin und Dulcin stelle ich als konzentrierte Lösungen 1‰ige, von den anderen Stoffen 20%ige her. Die Dulcinlösung ist nicht haltbar, es scheiden sich nach einiger Zeit Krystalle aus.

Die Versuchsergebnisse haben in gewissen Grenzen nur individuellen Wert. So zeigt schon die vorhin angeführte Tabelle Zwaardemakers außerordentlich

[1]) Zwaardemaker, l. c. p. 716.
[2]) Paraphenetolcarbamid.

große Unterschiede in den Reizschwellen des Zuckers und des Saccharins bei den verschiedenen Autoren.

Bestimmung der Konzentrations- und Gewichtsschwellen.

Wiewohl für die Süßstoffe die Schwellen schon bestimmt sind, konnte ich sie doch nicht als Ausgangspunkt für meine Versuche wählen, da sie ja nur individuelle Bedeutung haben. Die von mir gefundenen Werte der Konzentrations- und Gewichtsschwellen habe ich in den nachstehenden Tabellen 1 und 2 zusammengestellt.

Tab. 1.

Konzentrationsschwellen.

Süßstoff	Maximalwert	Minimalwert	Mittelwert	Mehrsüße des Saccharins
Saccharin	1 : 50000	1 : 60000	1 : 55000	1
Dulcin	1 : 32000	1 : 38000	1 : 35000	1,57
Fruchtzucker	1 : 150	1 : 170	1 : 160	344
Rohrzucker	1 : 95	1 : 105	1 : 100	550
Traubenzucker	1 : 55	1 : 65	1 : 60	917
Mannit	1 : 47	1 : 53	1 : 50	1100
Milchzucker	1 : 23	1 : 27	1 : 25	2200

Tab. 2.

Gewichtsschwellen.

	Lösung	Maximalwert in ccm	Minimalwert in ccm	Mittelwert		Mehrsüße des Saccharins
				Vol.	Gew.	
Saccharin	1 : 55000	8,5 ccm	7,5 ccm	8 ccm	0,145 mg	1
Dulcin	1 : 35000	6,5 ccm	5,5 ccm	6 ccm	0,17 mg	1,17
Fruchtzuck.	1 : 160	3,3 ccm	2,7 ccm	3 ccm	18,7 mg	129
Rohrzucker	1 : 100	2,8 ccm	2,2 ccm	2,5 ccm	25,0 mg	172
Traubenzck.	1 : 60	2,0 ccm	1,5 ccm	1,75 ccm	29,0 mg	200
Mannit	1 : 50	1,7 ccm	1,3 ccm	1,5 ccm	30,0 mg	207
Milchzucker	1 : 25	1,2 ccm	0,8 ccm	1,0 ccm	40,0 mg	276

Im großen und ganzen stimmen diese Werte mit den früher gefundenen überein, nur die bei Saccharin und Dulcin gefundenen Reizschwellen sind noch im wesentlichen niedriger.

Es ist noch zu erwähnen, daß ich bei Saccharin in einer weit dünneren Lösung, schon in Lösung 1 : 100000 eine Geschmacksempfindung wahrgenommen habe, die aber nicht süß, sondern von unangenehmen und unbestimmten geschmacklichen Charakter ist. Demnach unterscheidet sich bei Saccharin die Konzentrationsschwelle des Geschmackes von der der Süße. Auch bei Bestimmung der Gewichtsschwelle wird dieser Geschmack schon bei kleineren Mengen Flüssigkeit, in 5 ccm der Konzentrationsschwellenlösung, empfunden. Diesen 5 ccm Lösung entsprechen 0,09 mg Saccharin. Die Geschmacksgewichtsschwelle des Saccharins ist somit 0,09 mg, die Süßengewichtsschwelle 0,145 mg. Bei den anderen geprüften Süßstoffen habe ich einen derartigen der Süße vorausgehenden Geschmack nicht wahrnehmen können.

Vergleich der Schwellenwerte.

Die Tabellen 1 und 2 zeigen, daß die Werte der Konzentrations- wie der Gewichtsschwellen untereinander sehr verschieden sind. Die niedrigste Konzentrationsschwelle hat das Saccharin, die des Dulcins liegt 1,57 mal, die des Fruchtzuckers 344 mal, die des Rohrzuckers 550 mal, die des Traubenzuckers 917 mal, die des Mannits 1100 mal und die des Milchzuckers 2200 mal so hoch und so viel mal süßer wäre nach den bisher geläufigen Anschauungen das Saccharin als die andern genannten Süßstoffe.

Bezüglich der Gewichtsschwellen bei den Schwellenkonzentrationen ist die Reihenfolge der Süßstoffe, von der niedrigsten Schwelle bis zur höchsten, dieselbe wie bei den Konzentrationsschwellen. Aber das Verhältnis der

Schwellenwerte der Süßstoffe zu dem des Saccharins ist bei den Gewichtsschwellen ein anderes als bei den Konzentrationsschwellen. Es ist der Unterschied der Konzentrationsschwellen weit größer als der der Gewichtsschwellen. Ich füge in den Tabellen 1 und 2 eine Rubrik an, die enthält, wieviel mal süßer bei der Konzentrationsschwelle und wieviel mal süßer bei der Gewichtsschwelle das Saccharin gegenüber den einzelnen andern Süßstoffen ist.

Vergleich der höheren Konzentrationen.

Wäre die Konzentrationsschwelle der vergleichbare Ausdruck für die Süße eines Stoffes, so müßten, wenn die Konzentrationsschwellen um den gleichen Betrag erhöht würden, nun gleich süße Lösungen entstehen. Ich habe die Versuche ausgeführt in der 2-, 3-, 4-, 6-, 8-, 10-, 12-, 16-, 20-, 25-, 30-, 35-fachen Grenzkonzentration. Dabei ist zu bemerken, daß die im folgenden aufgeführten Geschmacksunterschiede meist außerordentlich deutlich sind und für die drei Versuchspersonen ungefähr im gleichen Grade in Erscheinung traten. Nur den Unterschied zwischen der Süße der Saccharinlösungen und der der anderen Süßstofflösungen festzustellen ist oft nicht leicht, da bei höheren Konzentrationen des Saccharins sein süßer Geschmack durch den starken Nebengeschmack sehr beeinträchtigt wird.

Bei 2- und 3-facher Grenzkonzentration ist in der Süße der Süßstoffe noch kein merkbarer Unterschied vorhanden, aber schon bei 4-facher Konzentrationsschwelle, in den Lösungen des Saccharins 1:14000, des Dulcins 1:8750, des Fruchtzuckers 1:40, des Rohrzuckers 1:25, des Traubenzuckers 1:15, des Mannits 1:12,5 und des Milchzuckers 1:6,25 wird ein solcher deutlich. Diese Lösungen sind an Süße untereinander alle verschieden. Interessant ist die Reihenfolge der Lösungen ihrer Süße nach; sie ist

folgende: Milchzucker-, Mannit-, Traubenzucker-, Rohrzucker-, Fruchtzucker-, Saccharin-, Dulcinlösung. Während von den Süßstoffen Saccharin und Dulcin der süßere, das Saccharin, bei 4-facher Reizschwelle eine süßere Lösung ergibt als das Dulcin, ist es bei den 4-fachen Reizschwellenlösungen der 5 anderen Süßstoffe umgekehrt, es ist jetzt die Lösung des in der Reizschwelle am wenigsten süßen Milchzuckers die süßeste, die des in der Grenzschwelle am süßesten schmeckenden Fruchtzuckers jetzt die am wenigsten süße. Die anderen schieben sich zwischen diese beiden in umgekehrter Reihenfolge ihrer Süße in den Reizschwellen. Die Saccharinlösung 4-facher Konzentrationsswelle ist weniger süß als die am wenigsten süße Lösung der 4-fachen Grenzschwelle der Zucker, nämlich als die des Fruchtzuckers. Diese Verhältnisse bleiben bis zu den Lösungen höchster gleich vervielfachter Schwellenkonzentration bestehen, es bleibt das von Dulcin und Saccharin an Süße stärker zunehmende Saccharin noch hinter dem von den anderen 5 Süßstoffen an Süße am wenigsten zunehmenden Fruchtzucker zurück und bleibt erst recht zurück hinter dem Rohrzucker, was von besonderer praktischer Bedeutung ist. Ich habe Rohrzucker sowohl mit Saccharin als auch mit Dulcin verglichen, die Ergebnisse mit genauer Zahlenangabe folgen später.

Zunächst will ich Saccharin und Dulcin unter sich in Vergleich ziehen. Schon bei 4-facher Schwellenkonzentration ist ein Unterschied in der Süße der Lösungen dieser beiden Süßstoffe merkbar, der bei Zunahme der Konzentration in ganz ungleichem Verhältnis wächst. Die Süße der Saccharinlösung wird immer größer als die der entsprechenden Dulcinlösung. Um ein Maß zu haben für diesen Süßigkeitsunterschied habe ich folgende Versuchsreihe angestellt. Ich habe die Verschiedenheit in der Süße bei den Lösungen gleich vervielfachter Grenzschwelle durch weitere

Verdünnung der süßeren Saccharinlösung ausgeglichen, in der Tabelle 3 die an Süße gleichen Lösungen des Dulcins und des Saccharins einander gegenübergestellt und berechnet, welche Konzentration des Saccharins der des Dulcins nunmehr gleich süß ist; diese Zahl gebe ich in einer Rubrik der Tabelle an. Vergleicht man die Zahlen der Vervielfachung der gleich süßen Lösungen, so ergibt sich, daß der Dulcinlösung eine Saccharinlösung geringerer Vervielfachung entspricht. Es ist zuletzt der 35-fachen Reizschwelle des Dulcins an Süße gleich nur die 7-fache des Saccharins.

Tab. 3.

Gleiche Süße bei Dulcin und Saccharin.

Dulcin		Saccharin		Süßigkeitsverhältnis von Saccharin zu Dulcin	Volumen der Ausgleichsverdünnung der Saccharinlösung
Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Lösung	Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Lösung		
1 fache	1 : 35000	1 fache	1 : 55000	1,57	
2 fache	1 : 17500	2 fache	1 : 27500	1,57	
3 fache	1 : 11650	3 fache	1 : 18300	1,57	
4 fache	1 : 8750	3,44 fache	1 : 16000	1,83	0,14 Vol.
8 fache	1 : 4375	5,79 fache	1 : 9500	2,17	0,35 Vol.
12 fache	1 : 2920	7,33 fache	1 : 7500	2,57	0,64 Vol.
16 fache	1 : 2250	7,53 fache	1 : 7300	3,2	1,1 Vol.
20 fache	1 : 1800	7,64 fache	1 : 7200	4,0	1,61 Vol.
25 fache	1 : 1400	7,75 fache	1 : 7100	5,07	2,23 Vol.
30 fache	1 : 1170	7,81 fache	1 : 7040	6,02	2,84 Vol.
35 fache	1 : 1000	7,86 fache	1 : 7000	7,0	3,4 Vol.

Eine andere Zahlenreihe für den Unterschied der Süßenzunahme bei fortschreitender Konzentration bekomme ich, wenn ich berechne, um welches Vielfache ihres Volumens ich die Saccharinlösung weiter verdünnen muß, damit sie der entsprechenden Dulcinlösung an Süße gleich wird.

Als drittes Maß berechne ich das Konzentrationsverhältnis des Saccharins und des Dulcins in den gleich süßen

Lösungen. Beide Zahlenreihen füge ich der Tabelle 3 in besonderen Rubriken an. Das gewaltige Wachsen dieser

Tab. 4.

Lösungen gleicher Süße von den Zuckern und Mannit.

	Konzentrationsschwelle		Konzentration gleicher Süße entspr. der 4-fachen Grenzschwelle des Fruchtzuckers			Konzentration gleicher Süße entspr. der 12-fachen Grenzschwelle des Fruchtzuckers		
	Gleichsüße Lösungen	Konz.-Verhältn. z. Fruchtzucker	Gleichsüße Lösungen	Konzentrationsschwelle	Konzent.-Verhältn. z. Fruchtzucker	Gleichsüße Lösungen	Konzentrationsschwelle	Konzent.-Verhältn. z. Fruchtzucker
Fruchtzucker	1 : 160		1 : 40	4 fache		1 : 13,3	12 fach	
Rohrzucker	1 : 100	1,6	1 : 26,8	3,7 fache	1,49	1 : 9,8	10,2 fach	1,36
Traubenzucker	1 : 60	2,66	1 : 18	3,3 fache	2 2	1 : 7,5	8 fach	1,77
Mannit	1 : 50	3,2	1 : 17,5	2,86 fache	2,3	1 : 7,5	6,6 fach	1,77
Milchzucker	1 : 25	6,4	1 : 10	2,5 fache	4			

Zahlenreihen bei den höchsten Konzentrationen läßt den großen Unterschied der Süßigkeitszunahme bei Saccharin und Dulcin erkennen.

Bei den anderen 5 Süßstoffen, dem Fruchtzucker, Rohrzucker, Traubenzucker, Mannit und Milchzucker, lassen sich wegen ihrer hohen Schwellen die Versuche nicht bis zu solch starken Vervielfachungen der Konzentrationsschwellen ausdehnen. Im übrigen habe ich für sie die Versuche in ähnlicher Weise angestellt und die gleichen Berechnungen gemacht wie für Saccharin und Dulcin. Ich habe bei den höheren Konzentrationen die süßeren Lösungen so weit verdünnt, daß sie der am wenigsten süßen Fruchtzuckerlösung an Süße gleich waren. In der Tabelle 4 stelle ich die durch Versuche und Berechnungen gefundenen Zahlen zusammen. Ich habe die Versuche bei 4-facher und 12-facher Konzentrationsschwelle vorgenommen, in kleineren Abständen ergaben sie wegen der Kleinheit der Geschmacksunterschiede nicht verwertbare Zahlen.

Es wird bei diesen 5 Süßstoffen mit Zunahme der Vervielfachung der Grenzschwellen der Unterschied des Konzentrationsverhältnisses gleich süßer Lösungen immer kleiner. Zwischen Saccharin und Dulcin ist es umgekehrt, da wächst der Unterschied mit Zunahme der Konzentration immer mehr.

Bei Versuchen mit 12-facher Grenzschwelle scheidet der Milchzucker bereits aus der Versuchsreihe aus, da infolge seines hohen Schwellenwertes solch hohe Vervielfachung der Schwelle nicht möglich ist.

Ich vergleiche nun noch die praktisch zum Süßen am meisten gebrauchten Stoffe, das Saccharin und den Rohrzucker einerseits, das Dulcin und den Rohrzucker andrerseits, in höheren Konzentrationen. Ich erwähnte schon, daß selbst das an Zunahme von Süße steiler als das Dulcin

ansteigende Saccharin bei gleicher Vervielfachung der Schwellenwerte hinter dem Rohrzucker an Süße weit zurückbleibt. Umso mehr noch tut es das Dulcin.

Tabelle 5 zeigt den Unterschied zwischen Saccharin und Rohrzucker, Tabelle 6 den zwischen Dulcin und Rohrzucker.

Tab. 5.

Gleiche Süße bei Saccharin und Rohrzucker.

Saccharin		Rohrzucker		Süßigkeitsverhältnis v. Saccharin zu Rohrzucker
Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Lösung	Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Lösung	
1 fache	1 : 55000	1 fache	1 : 100	550
4 fache	1 : 14000	3,3 fache	1 : 30	467
6 fache	1 : 9170	4 fache	1 : 25	367
8 fache	1 : 6875	5 fache	1 : 20	344
10 fache	1 : 5500	5,56 fache	1 : 18	306
12 fache	1 : 4580	6,25 fache	1 : 16	286
16 fache	1 : 3440	6,67 fache	1 : 15	229
20 fache	1 : 2750	7,14 fache	1 : 14	196
25 fache	1 : 2200	7,7 fache	1 : 13	169
30 fache	1 : 1830	8 fache	1 : 12,5	146
35 fache	1 : 1570	8,33 fache	1 : 12	131
40 fache	1 : 1375	8,51 fache	1 : 11,75	117
45 fache	1 : 1220	8,7 fache	1 : 11,5	106
50 fache	1 : 1100	8,77 fache	1 : 11,4	96,5
55 fache	1 : 1000	8,85 fache	1 : 11,3	88,5

Aus den Tabellen 5 und 6 ergibt sich, daß der Saccharinlösung 1:1000, d. h. der 55-fachen Grenzschwelle, schon die nur 8,85-fache Grenzschwelle des Rohrzuckers gleich süß ist, und der 35-fachen des Dulcins die bloß 6,25-fache des Rohrzuckers. Sind an der Grenzschwelle das Saccharin 550 mal und das Dulcin 350 mal süßer als

der Rohrzucker, so sind in 35-facher Schwellenkonzentration das Saccharin nur noch 131 mal und das Dulcin nur noch 62,5 mal süßer, in 55-facher Grenzschwelle ist das Saccharin nur noch 88,5 mal süßer als der Rohrzucker.

Tab. 6.

Gleiche Süße bei Dulcin und Rohrzucker.

Dulcin		Rohrzucker		Süßigkeitsverhältnis v. Dulcin zu Rohrzucker
Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Lösung	Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Lösung	
1 fache	1 : 35000	1 fache	1 : 100	350
4 fache	1 : 8750	2,86 fache	1 : 35	250
6 fache	1 : 5830	3,33 fache	1 : 30	194
8 fache	1 : 4375	3,87 fache	1 : 26	168
10 fache	1 : 3500	4,35 fache	1 : 23	152
12 fache	1 : 2920	4,76 fache	1 : 21	139
16 fache	1 : 2250	5 fache	1 : 20	112,5
20 fache	1 : 1800	5,26 fache	1 : 19	94,7
25 fache	1 : 1400	5,56 fache	1 : 18	77,8
30 fache	1 : 1170	5,88 fache	1 : 17	68,8
35 fache	1 : 1000	6,25 fache	1 : 16	62,5

Die Vergleichung der höheren Konzentrationen der Süßstoffe Saccharin, Dulcin, Fruchtzucker, Rohrzucker, Traubenzucker, Mannit und Milchzucker zeigt also, daß die Zunahme an Süße ganz verschieden ist und nicht nach einer einheitlichen Regel angegeben werden kann. Bei Saccharin und Dulcin ist das Verhalten der Süßigkeitszunahme ein umgekehrtes von dem bei den anderen 5 Süßstoffen Fruchtzucker, Rohrzucker, Traubenzucker, Mannit, und Milchzucker.

Gewichtsschwellen bei höheren Konzentrationen.

Treten in der Süßigkeit der Süßstofflösungen bei Vervielfachungen der Konzentrationsschwellen starke Unterschiede auf, so ergibt die Vergleichung der Gewichtsschwellen in höheren Konzentrationen viel gleichmäßigere Werte. Ich lege für die Gewichtsschwellen die Tabelle 7 an. Die Gewichtsschwelle des Saccharins nimmt bis zur 6-fachen Konzentrationsschwelle ab, ist in ihr am niedrigsten; dann nimmt sie wieder zu, erreicht bei der 20-fachen Konzentration die Höhe der Grenzschwelle der Konzentrationsschwellenlösung. In noch höheren Konzentrationen schwanken ihre Werte zwischen 0,13 und 0,16 mg. Die

Tab. 7.

Gewichtsschwellen bei den verschiedenen Konzentrationen.

Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Saccharin	Dulcin	Fruchtzucker	Rohrzucker	Traubenzucker	Mannit	Milchzucker
1 fache	0,145 mg	0,17 mg	18,7 mg	25 mg	29 mg	30 mg	40 mg
2 fache	0,127 mg	0,17 mg	20 mg	26 mg	30 mg	32 mg	40 mg
3 fache	0,11 mg	0,17 mg	22,5 mg	30 mg	35 mg	36 mg	42 mg
4 fache	0,104 mg	0,17 mg	22,5 mg	28 mg	33,3 mg	32 mg	40 mg
6 fache	0,099 mg	0,17 mg	22,5 mg	24 mg	30 mg	30 mg	
8 fache	0,11 mg	0.19 mg	20 mg	20 mg	26,6 mg	27,2 mg	
10 fache	0,14 mg	0,2 mg	18 mg	18 mg	25 mg	24 mg	
12 fache	0,131 mg	0,21 mg	13,5 mg	14 mg			
16 fache	0,128 mg	0,227 mg					
20 fache	0,145 mg	0,228 mg					
25 fache	0,136 mg	0,25 mg					
30 fache	0,135 mg	0,23 mg					
35 fache	0,16 mg	0,2 mg					

Gewichtsschwelle des Dulcins bleibt bis zur 6-fachen Konzentrationsschwelle gleich, wächst dann bis zur 25-fachen Konzentration, nimmt dann wieder ab, bleibt aber in der 35-fachen Konzentrationsschwellenlösung noch größer als in der Konzentrationsschwellenlösung. Es verhalten sich also die Gewichtsschwellen dieser beiden Süßstoffe mit steigender Konzentration direkt entgegengesetzt.

Ein gleichmäßigeres Verhalten als die Gewichtsschwellen des Saccharins und des Dulcins zu einander zeigen die der 5 anderen Süßstoffe unter einander bei den verschiedenen Konzentrationsstärken. Zwar sind ihre Werte verschieden, in der Konzentrationschwelle sind die Gewichtsschwellen folgende: von Fruchtzucker 18,7 mg, von Rohrzucker 25,0 mg, von Traubenzucker 29 mg, von Mannit 30 mg und von Milchzucker 40 mg; aber es nehmen in höheren Konzentrationen die Werte der Gewichtsschwellen zunächt bei allen zu und in noch höheren Konzentrationen bei allen wieder ab. Die Reihenfolge nach der Größe der Gewichtsschwellen bleibt fast immer die gleiche, nur kommt der Mannit ab und zu vor dem Traubenzucker. Es fällt in der Tabelle 7 auf, daß sich die Gewichtsschwellen von Fruchtzucker und Rohrzucker trotz dem ziemlich erheblichen Unterschied in den Konzentrationsschwellenwerten schon bei 6-facher Konzentrationsschwelle sehr nähern und von 8-facher Konzentrationsschwelle an gleich werden.

Vergleich der Gewichtsschwellen bei höheren Konzentrationen.

Beim Vergleich der Süße von Süßstofflösungen verschiedener Konzentration stellte sich heraus, daß die Lösung des Saccharins mit Zunahme der Konzentration immer süßer wird als die entsprechende Lösung des Dulcins, und daß dieser Unterschied im Süßigkeitswerte in der

Tab. 8.

Verhältnis der Gewichtsschwellen der Süßstoffe zu der des Saccharins.

Vielfache der Grenzschwellenkonzentrat.	Gewichtsschwelle des Saccharins	Saccharin	Dulcin	Fruchtzucker	Rohrzucker	Traubenzucker	Mannit	Milchzucker
1 fache	0,145 mg	1	1,15	129	172,4	200	207	276
2 fache	0,127 mg	1	1,34	157,5	205	236	252	315
3 fache	0,11 mg	1	1,55	205	273	318	327	382
4 fache	0,104 mg	1	1,63	216	269	320	308	385
6 fache	0,099 mg	1	1,72	227	242	303	303	
8 fache	0,11 mg	1	1,73	182	182	242	247	
10 fache	0,14 mg	1	1,43	129	129	179	171	
12 fache	0,131 mg	1	1,6	103	107			
16 fache	0,128 mg	1	1,77					
20 fache	0,145 mg	1	1,57					
25 fache	0,136 mg	1	1,84					
30 fache	0,135 mg	1	1,7					
35 fache	0,16 mg	1	1,3					

stärksten Konzentration, die verglichen werden kann, in der 35-fachen Konzentrationsschwelle, am größten ist. Das Süßigkeitsvielfache ist in der Schwellenlösung 1,57, in der 35-fachen Schwellenlösung 7. Dagegen bleibt das Verhältnis der Gewichtsschwellen des Dulcins zu denen des Saccharins zwischen den Werten 1,15 und 1,84. Und zwar ist dies Verhältnis nicht in der stärksten der verglichenen Konzentrationen am größten, sondern in der 25-fachen Konzentrationsschwelle, und wird in noch höheren Konzentrationen wieder kleiner. Bei den 5 anderen Süßstoffen, den natürlichen Zuckern und dem Mannit, nimmt bei steigender Konzentration der am wenigsten süße am meisten an Süße zu, der nach der Grenzschwelle süßeste am wenigsten, sodaß der Unterschied des Verhältnisses der absoluten Süße

nach und nach immer kleiner wird. Ihre Gewichtsschwellenwerte zeigen dagegen kein ähnliches Verhalten bei steigender Konzentration, sondern laufen paralleler. In der Tabelle 8 habe ich die Zahlenverhältnisse der Gewichtsschwellen der Süßstoffe zu den des Saccharins bei den verschiedenen Konzentrationen zusammengestellt.

Zusammenfassung.

Aus dem Vorstehenden ist erwiesen, daß die Konzentrationsschwelle kein Maß ist für den Süßigkeitswert eines Stoffes, da mit steigender Konzentration die Süßen nicht den Konzentrationen parallel zunehmen. Ist das Saccharin in der Konzentrationsschwelle scheinbar 550 mal so süß wie Rohrzucker, dann ist es bei 55-facher Konzentration nur mehr etwa rund 90 mal so süß wie Rohrzucker. Gegenüber dem Dulcin dagegen ist das Saccharin gemäß der Grenzschwelle 1,57 mal so süß, bei 35-facher Konzentration aber 7 mal so süß. Das Dulcin ist gegenüber Rohrzucker nach der Grenzschwelle 350 mal so süß, bei 35-facher Konzentration jedoch nur mehr rund 60 mal so süß. Bei den Süßstoffen von geringerer Intensität, wie bei den natürlichen Zuckern und dem Mannit, nehmen die Süßen auch nicht parallel den Konzentrationen zu, sondern die weniger süßen nehmen mit der Konzentration an Süße stärker zu als die süßeren. So ist der Fruchtzucker gemäß der Grenzschwelle etwa 1,6 mal so süß wie der Rohrzucker, 2,7 mal so süß wie der Traubenzucker, 3,2 mal so süß wie das Mannit und 6,4 mal so süß wie der Milchzucker. Bei 4-facher Konzentration dagegen erscheint der Fruchtzucker nur mehr 1,49 mal so süß wie Rohrzucker, 2,2 mal so süß wie der Traubenzucker, 2,3 mal so süß wie der Mannit und 4 mal so süß wie der Milchzucker, bei 12-facher Konzentration nur mehr 1,36 mal so süß wie der Rohrzucker, 1,77 mal so süß wie

der Traubenzucker und ebenfalls etwa 1,77 mal so süß wie der Mannit.

Da nun die Bewertung der Süße eines Stoffes von großer praktischer Bedeutung ist, da sich ja danach seine Abmessung zum Süßen von Speisen und Genußmitteln richtet, muß der Vergleich der Süßstoffe bezüglich ihrer Geschmacksstärke im Bereiche ihres praktischen Gebrauches erfolgen. Das gebräuchliche Süßen der Getränke und Speisen erfolgt, auf Rohrzucker bezogen, mit einem Zusatz von etwa 5–8%, demnach muß der Süßwert der künstlichen Süßstoffe innerhalb dieser Grenzen mit dem Rohrzucker verglichen werden. Einer 5%-igen Rohrzuckerlösung entspricht eine Saccharinlösung von rund 1:7000, demzufolge ist das Saccharin 350 mal so süß. Einer 8%-igen Rohrzuckerlösung entspricht eine Saccharinlösung von rund 1:1800, demnach ist Saccharin jetzt etwa 140 mal so süß. Eine 5%-ige Rohrzuckerlösung ist gleich süß einer Dulcinlösung von 1:2200, daher ist Dulcin bei dieser Stärke des Süßgeschmackes 112 mal so süß wie der Rohrzucker. Die 6¼%-ige Rohrzuckerlösung ist gleich süß der 1‰-igen Dulcinlösung, der stärksten Konzentration, die von Dulcin herzustellen möglich ist.

Die Gewichtsschwelle der untersuchten Süßstoffe ändert sich mit der Konzentration und zwar fällt sie bei Saccharin mit zunehmender Konzentration, um dann wieder bis über den Anfangswert anzusteigen. Bei den Zuckern läßt sich gerade das Umgekehrte festellen, es steigt bei ihnen die Gewichtsschwelle mit zunehmender Konzentration und fällt bei den höchsten Konzentrationen zum Teil ganz bedeutend unter den ursprünglichen Wert. Beim Dulcin wird die Gewichtsschwelle mit steigender Konzentration vorwiegend höher und bleibt auch bei der höchsten Konzentration über dem Ursprungswerte. Es stehen die Gewichtsschwellen in einem wesentlich anderen Verhältnis zu einander als die

Konzentrationsschwellen. Das Verhältnis der Süßigkeitswerte gemessen durch ihre Gewichtsschwelle ist daher in seinem Ausmaß wesentlich anders als das durch die Konzentrationsschwellen ermittelte. Der Unterschied in der Süße ist vor allem viel geringer. Nach der Gewichtsschwelle ist z. B. das Saccharin nur rund 170 mal süßer als der Rohrzucker und rund 270 mal süßer als der Milchzucker, während nach der Konzentrationsschwelle das Saccharin 550 mal bezw. 2200 mal süßer ist. In wieweit die Feststellung der Gewichtsschwellen für die Bewertung der Süße eines Stoffes aber brauchbar ist, ist schwierig zu beurteilen, da hier auch die Größe der gereizten Sinnesfläche für das Zustandekommen der Empfindung in Rechnung zu ziehen ist. Auffällig ist, daß von den Lösungen der weniger süßen Stoffe ein wesentlich geringeres Volumen, somit eine kleinere Reizfläche, zur Hervorrufung der Geschmacksempfindung auszureichen scheint als bei den sehr süßen Stoffen.

Hervorzuheben bleibt noch, daß dem Süßempfinden bei Saccharin bei der Schwelle 1:55000 eine schwer definierbare, sicher aber unangenehme Geschmacksempfindung mit viel niedriger Konzentrationsschwelle vorausgeht. Dieser Nebengeschmack verschwindet nicht mit dem Auftreten des Süßgeschmackes und macht sich individuell in verschieden hohem Grade geltend.

Am Schlusse der Arbeit fühle ich mich verpflichtet, meinem hochverehrten Lehrer

Herrn Professor Dr. med. et phil. A. Gürber

sowie auch Herrn Dr. Hennig aufrichtigst zu danken für die mir jederzeit zuteil gewordene liebenswürdige Unterstützung.

Lebenslauf.

Ich, *Albert Arnold,* katholischer Konfession, wurde am 24. September 1885 als Sohn des Kgl. Hegemeisters *Karl Arnold* und seiner Ehefrau *Maria,* geb *Rückert,* zu Gudersleben, Kreis Grafschaft Hohenstein, geboren. Von 1891 bis 1897 besuchte ich die Volksschule zu Gudersleben und Kleinbartloff, Kreis Worbis. Von 1897—1899 genoß ich Unterricht in dem Gymnasium zu Heiligenstadt, von 1899—1902 in dem Progymnasium mit Realabteilungen zu Duderstadt, von 1902 bis Herbst 1905 in dem Realgymnasium zu Osterode a. Harz, wo ich Herbst 1905 die Reifeprüfung bestand. Ich widmete mich dem Studium der Medizin und studierte vom Herbst 1905 bis Herbst 1906 in Würzburg, wo ich vom 1. 4. 1906 bis 1. X. 1906 zugleich das erste Halbjahr meiner Militärpflicht abdiente, das Wintersemester 1906/07 in Halle a. S., vom Sommersemester 1907 bis Wintersemester 1909/10 in Erlangen und vom Sommersemester 1910 bis Wintersemester 1912/13 in Marburg a. d. Lahn, wo ich im Frühjahr 1911 die medizinische Vorprüfung bestand und mich im Frühjahr 1913 der medizinischen Staatsprüfung unterzog, die ich am 30. Juni 1913 beendete. Bis zum 24. Juli war ich Medizinalpraktikant in der chirurgischen Klinik zu Marburg, von da bis zum 6. Juli 1914 in dem Städtischen Krankenhaus zu Ludwigshafen a. Rhein. Vom 6. August 14 bis 5. Juni 1916 war ich im Feld beim Res.-Feldart.-Regt. 22, beim Inf.-Regt. 71 und beim Res.-Feldlazarett 23, von wo ich zur II. Pion.-Komp. 4, zum Staffelstab der 22. Res.-Division, zum Res.-Inf.-Regt. 82 und zum Res.-Feldlazarett 50 abkommandiert wurde. Am 13. Mai 16 erkrankte ich und kam am 5. Juni 16 nach Deutschland, wo ich bis 4. Januar 1917 als Kranker und vom 21. Januar 1917 bis 27. April 17 als Arzt war. Am 27. April 1917 kam ich wieder ins Feld zum Stab des Ldw.-Fußart.-Batl. 64. Hier erkrankte ich am 30. Juni 1917 abermals und kam am 4. Juli 17 nach Deutschland ins Res.-Lazarett Frankfurt a. Main und wurde von dort am 22. August 17 nach dem Res.-Lazarett Marburg a. d. Lahn verlegt.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren:

Zu Würzburg: *Stöhr, Sobotta, Tafel.*

Zu Halle a. S.: *Roux.*

Zu Erlangen: *Gerlach, Spuler, Rosenthal, Fuchs, Schulz, Fischer, Fleischmann, Solereder, Wiedemann.*

Zu Marburg: *Gasser, Disse, Schenck, Matthes, Müller, Bruns, Gürber, Friedrich, König, Hohmeyer, Heide, Zangemeister, Rieländer, Esch, Bach, Bielschowski, Schmidt, Tuczek, Bonhoff, Hildebrand, Ostmann.*

Am 11. August 1917 verheiratete ich mich mit *Margarete* geb. *Unger* aus Blankenburg a. Harz.